

煤矿巷道锚杆支护预紧力对围岩稳定的影响

刘 志

四川川煤华荣能源有限责任公司 四川 成都 610000

【摘 要】：锚杆支护预紧力是煤矿巷道围岩控制中的关键施工变量，其作用不只体现在锚杆是否受力，还关系到围岩浅部裂隙闭合、组合梁形成、顶帮协同约束和支护体系承载时序。当前部分巷道支护仍存在预紧不足、受力离散、施工复核弱和后期补强滞后等问题，导致设计参数难以转化为稳定效果。文章围绕煤矿巷道锚杆支护预紧力对围岩稳定的影响展开分析，阐明预紧力传递机理、围岩响应特征、现场控制难点与优化措施，以期煤矿巷道支护质量管理提供参考。

【关键词】：煤矿巷道；锚杆支护；预紧力；围岩稳定；支护质量

DOI:10.12417/2705-0998.26.11.011

引言

煤矿巷道服务采掘、通风、运输和行人等多重功能，长期处于采动应力、构造应力和围岩松动叠加影响之下。锚杆支护因适应性强、施工效率较高、对围岩主动约束明显，已经成为煤矿巷道支护的重要方式。巷道掘进与支护施工需要同时受围岩条件和施工过程控制约束，支护设计也应放在这一连续链条中审视。在实际工程中，锚杆预紧力常被看作安装环节的一个指标，却没有被充分纳入围岩稳定控制链条。预紧力偏低时，锚杆不能及时压紧围岩，裂隙面和层理面容易继续张开；预紧力分布不均时，局部支护刚度差异会造成顶板和两帮变形不同步。因此，分析预紧力对围岩稳定的影响，需要把锚杆、托盘、钢带、网片和围岩共同视为受力系统，进一步讨论施工控制与动态调整办法。从支护理论看，预紧力是把锚杆主动支护特征落到现场的起点；从施工管理看，它又是检验支护工序是否严谨的直接窗口。本文不把预紧力单独看成一个安装参数，而是将其放入围岩稳定、支护构件协同和施工质量闭环中讨论。

1 锚杆预紧力作用于围岩稳定的基本逻辑

1.1 由被动承载转向主动约束

锚杆预紧力的首要作用，是让支护构件在围岩尚未发生明显离层和滑移前就参与受力。没有预紧力或预紧不足时，锚杆往往要等围岩变形以后才逐渐受拉，支护体系处于相对被动状态。施加合理预紧后，托盘、钢带和网片能够把锚固端的约束作用提前传递到围岩浅部，使破碎岩块被压紧、层面摩擦得到发挥，巷道表面松动趋势随之受到抑制。煤矿掘进巷道顶板支护需要把顶板条件、支护方式和施工质量放在同一控制框架下，主动支护效果也取决于设计与安装的连续性^[1]。预紧力不是越大越稳，而是要与围岩强度、锚固长度、托盘接触状态和构件协调能力匹配。若只追求安装速度，托盘未贴紧岩面、钢带与顶板之间存在空隙，预紧力会在初始阶段被无效耗散，难以形成稳定约束。

1.2 通过组合结构改善顶帮受力

煤矿巷道围岩通常不是完整均质体，顶板层理、两帮片帮、

肩角裂隙和底板鼓胀会使变形表现出明显的空间差异。锚杆预紧力能够把分散的锚固点与钢带、网片连接成连续约束面，使浅部围岩从松散块体逐步转变为具有整体性的承载结构。深部开采条件下，围岩稳定控制更需要支护结构与围岩共同变形、共同承载，而不是单纯增加支护构件数量^[2]。在顶板区域，预紧力有助于压紧层状岩体，减小初期离层；在两帮区域，预紧力能够抑制煤岩片帮和剪切滑移；在肩角区域，连续预紧还可改善应力集中带的局部约束。若各排锚杆预紧水平差异较大，组合结构就会出现软硬不均，一些锚杆提前承担过多荷载，另一些锚杆迟迟不能发挥作用，最终削弱整体支护效率。

2 预紧力不足或失衡对围岩变形的影响

2.1 顶板离层和浅部破碎加剧

顶板离层常从弱面、层理面和节理裂隙开始发展。预紧力不足时，锚杆托盘对顶板表面的压紧作用偏弱，浅部岩层在掘进卸荷后容易出现微小张开，随后在采动扰动和自重作用下逐步扩大。煤矿采准巷道支护和掘进工艺优化应把围岩条件、掘进扰动和支护工艺作为一体化对象处理^[3]。从现场表现看，顶板离层并不总是立即形成冒顶风险，但会让锚杆受力滞后、钢带贴合变差、网片鼓包增多，进而给后续补强增加难度。若预紧力施加时没有清理浮矸、托盘偏斜或螺母锁紧不到位，表面看似完成安装，实则顶板浅部仍处于松弛状态。随着工作面推进或邻近巷道扰动传来，原有缝隙会进一步扩展，支护体系需要用更大的后期变形来换取承载，巷道断面维护成本随之升高。

2.2 两帮片帮和肩角剪切更易耦合

巷道两帮和肩角是预紧力控制中容易被忽视的部位。顶板锚杆安装质量较受关注，而两帮锚杆常因施工空间、煤岩破碎和作业节奏影响出现预紧不足。两帮约束偏弱时，煤壁首先发生鼓胀或片落，肩角支承条件随之恶化，顶板边部更容易发生剪切变形。煤巷快速掘进工艺与围岩控制应同步推进，不能让掘进效率提升脱离支护质量约束^[4]。如果支护跟进速度快但预紧质量不稳，巷道外观看似支护及时，实际承载连续性并未建

立。特别是在煤岩交界、软弱夹层和受采动影响区域，两帮变形会反过来牵动顶板，形成顶帮相互放大的破坏链。治理这类问题，不能只在变形后增加支护密度，还要在初始安装阶段保证两帮托盘贴岩、钢带顺直和预紧均衡，使顶帮肩角尽早形成协同约束。

3 影响预紧力发挥的现场因素

3.1 围岩条件决定预紧力有效传递边界

同样的预紧操作，在完整砂岩、层状泥岩、破碎煤体和软弱夹层中的效果并不相同。完整性较好的围岩能够把托盘压力较稳定地传入浅部岩体，形成较清晰的压紧区；破碎围岩则可能因孔壁塌落、锚固剂搅拌不均、托盘压碎岩面而出现预紧损失。孤岛工作面、沿空巷道和受多次采动影响区域的围岩应力路径更复杂，支护结构需要兼顾初期稳定和后期扰动适应性^[5]。预紧力管理首先要建立在围岩分级和现场揭露条件判断之上。若围岩破碎程度明显高于设计预判，应及时调整锚杆间排距、锚固方式、护表构件和补强方案，而不是机械套用原有预紧标准。对钻孔成形差、孔内积水多、锚固剂失效或煤岩面凹凸不平的部位，预紧力即使达到扭矩要求，也可能没有真正转化为围岩有效约束，需要通过拉拔、离层观测和表面变形检查进行复核。

3.2 施工工艺直接影响预紧力稳定性

预紧力从设计值转化为现场效果，需要经历钻孔、装药、搅拌、等待、安装托盘、紧固螺母和复查等多个环节。任何一个环节粗放，都可能造成预紧力衰减。煤矿掘进巷道锚杆支护质量受钻孔质量、支护材料和施工管理共同影响，并非单一构件问题。钻孔角度偏差会改变锚杆受力方向，孔深不足会压缩锚固空间，锚固剂搅拌不充分会削弱端部约束，托盘偏斜会造成局部压碎和受力不均。紧固阶段若没有使用合适工具和复核程序，班组容易凭经验判断松紧，导致同一断面内预紧水平差别较大。巷道潮湿、煤尘多、照明差和作业面狭窄时，施工人员更容易跳过清孔、贴盘和复拧等细节。预紧力稳定性管理因此要前移到工序控制，而不是只在成巷后看表面变形。施工组织也会影响预紧力保持。掘进、出矸、支护和运输若衔接混乱，支护班组容易在粉尘大、照明差和设备频繁避让的条件下赶工，钻孔清理、药卷推送和托盘校正就会被压缩。项目部应把支护工序作为掘进循环中的硬约束，不能把锚杆安装留到人员疲劳或作业面拥挤时段。对变形敏感区，可适当放慢循环节奏，先保证关键排距内锚杆形成稳定约束，再进入后续作业。

4 提升预紧力控制效果的优化措施

4.1 建立从设计到复核的预紧力闭环

预紧力控制应从设计交底开始明确目标，而不是把要求停留在图纸或作业规程中。项目技术人员应结合围岩分级、巷道断面、服务年限和采动影响，向施工班组讲清不同部位锚杆的

作用差异，明确哪些位置属于重点控制段。现场安装完成后，要把扭矩检查、托盘贴合、钢带顺直、网片压实和锚杆外露状态一起复核，避免只看某一个指标。对变形敏感区、断层邻近区和顶板破碎区，应安排复拧或抽检，把初装质量和后续受力变化联系起来。检查结果要能够追溯到具体断面和班组，发现同类问题反复出现时，应回到钻孔、材料、工具和交底环节查原因。闭环管理的价值，在于把预紧力从一次性安装动作变成可检查、可纠偏、可持续改进的质量控制对象。闭环还应覆盖工具和人员两个容易被忽略的环节。扭矩扳手、张拉设备和检测工具如果长期不校核，现场记录就会失去可信度；新进班组如果只知道安装动作，不理解预紧力与围岩稳定的关系，也容易把复核当成形式。项目部可把关键断面作为样板段，先组织技术员、电工钳工和支护班组共同确认钻孔、装药、托盘、紧固和记录要求，再推广到一般作业面。

对检查中发现的低预紧、托盘悬空和网片松弛问题，应追溯到作业时间、工具状态和材料批次，必要时暂停同类断面施工。这样处理虽然会增加前期管理工作量，却能减少后期大范围返修和反复补强。预紧力闭环应当和材料验收联动^[6]。锚杆杆体、托盘、螺母、钢带和锚固剂进入现场后，不能只看数量是否满足进度，还要核对型号、外观、保管状态和使用期限。锚固剂受潮、托盘变形、螺母丝扣损伤等问题，都会让紧固动作变成表面合格。施工班组领取材料时，应明确使用部位和剩余材料回收要求，避免不同规格混用。对破碎围岩段，可安排技术人员旁站首排安装，观察钻孔成形、药卷送入、搅拌阻力和托盘贴合情况，再决定是否调整工艺。管理人员还应把预紧力检查结果和巷道变形记录放在同一张表里看，如果某个班组施工区域反复出现托盘松动或网片鼓出，就要追查作业习惯，而不是只要求补拧。这样才能把闭环从纸面检查变成真实的质量改进。同时，复核结果要及时反馈给掘进安排，避免支护质量问题被后续工序覆盖。对重点断面可保留影像记录和班组签名，使预紧力控制具备可追溯依据。后续交接班时也应说明重点复查位置。

4.2 把动态监测作为参数调整依据

围岩稳定是随掘进、回采和邻近工程活动变化的过程，预紧力控制也不能停留在初始安装。巷道成形后，应结合顶板离层、两帮收敛、锚杆受力、网片鼓包和底鼓变化判断支护效果。若局部变形发展较快，不能简单理解为单根锚杆失效，而要分析预紧力、锚固质量、围岩破碎和采动扰动之间的关系。动态监测数据应服务现场决策，例如调整支护跟进距离、增加补强锚索、改善护表构件、优化两帮支护或加强肩角控制。班组巡查记录也很重要，托盘松动、钢带翘曲、网片破损和锚杆外露异常往往比仪器数据更早暴露问题。只有把监测、巡查和技术复盘结合起来，预紧力控制才不会停留在合格表格上，而能真正转化为围岩稳定维护能力^[7]。监测结果还需要和现场维护动

作建立对应关系。顶板离层变化明显时，应优先检查锚杆锚固和肩角支护是否失效；两帮收敛加快时，应核对帮锚杆预紧、网片护表和煤壁破碎范围；底鼓发展明显时，则要判断是否已经影响两帮支承条件。

技术人员不能只把监测曲线归档，还要定期把曲线变化、巡查照片和班组反馈放在一起研判，形成下一循环的支护调整意见。对长期稳定的巷道，也不宜完全取消复查，因为采动影响、通风湿度和车辆扰动都会改变构件状态。动态管理越具体，预紧力控制越能从初始安装延伸到巷道服务全过程。在参数调整时，还要注意补强措施与原支护体系的关系。局部增设锚索、加密锚杆或补挂钢带时，应先判断原有锚杆是否仍具备承载能力，避免新旧构件之间受力割裂。若围岩已经出现明显松动，单纯补拧原锚杆可能效果有限，需要先处理表层破碎和空鼓，再实施补强。对长期服务巷道，巡查人员应关注支护构件的渐进变化，例如托盘边缘压入煤岩、钢带弯曲、网片局部撕裂和

螺母锈蚀，这些现象都可能提示预紧力保持能力下降。技术复盘时，可把稳定断面与变形断面进行对照，分析差异来自围岩条件、施工质量还是后期扰动。通过这种对照，预紧力控制不再依赖单次验收，而能持续服务巷道维护。对异常区段还应安排复查周期，确认补强后变形是否放缓，并将结果反馈到相邻巷道支护设计中。这也能减少重复返修。

5 结语

煤矿巷道锚杆支护预紧力对围岩稳定具有前置约束、整体联结和延缓变形的作用。预紧力不足会使顶板离层、两帮片帮和肩角剪切更容易发展，预紧力失衡则会削弱支护体系的整体承载效率。现场管理中，应把围岩条件、钻孔质量、锚固效果、托盘贴合、紧固复核和动态监测纳入同一闭环。只有让预紧力从设计要求落实到每个断面、每道工序和每次复查，锚杆支护才能更稳定地发挥主动控岩作用。

参考文献：

- [1] 周忠元.煤矿采矿工程中巷道掘进与支护技术应用研究[J].科技资讯,2026,24(12):142-144.
- [2] 张大为,赵峰.煤矿掘进巷道的顶板支护技术探讨[J].中国设备工程,2026,(7):235-237.
- [3] 吴晓.深部开采下煤矿巷道围岩稳定控制技术分析[J].内蒙古煤炭经济,2026,(1):44-46.
- [4] 王伟.煤矿采准巷道围岩稳定支护及掘进工艺优化[J].凿岩机械气动工具,2025,51(8):122-124.
- [5] 张建,陈琦.煤巷快速掘进工艺与围岩控制技术探究[J].内蒙古煤炭经济,2025,(11):73-75.
- [6] 胡建,周亚菲,王轩,等.不规则孤岛工作面回采巷道围岩稳定控制技术研究[J].能源与环保,2025,47(2):241-247.
- [7] 何雷,马新亮,赵士传.探索锚杆支护技术在煤矿掘进巷道中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2024,(18):175-177.